

88/1686

B5

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 2905132 C2

⑤ Int. Cl. 4:  
H 03 H 3/04

⑳ Aktenzeichen: P 29 05 132.9-35  
㉑ Anmeldetag: 10. 2. 79  
㉒ Offenlegungstag: 16. 8. 79  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 21. 4. 88

DE 2905132 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

<p>㉔ Unionspriorität: ㉔ ㉓ ㉑ 13.02.78 US 877541</p> <p>㉕ Patentinhaber: AT &amp; T Technologies, Inc., New York, N.Y., US</p> <p>㉖ Vertreter: Blumbach, P., Dipl.-Ing., 6200 Wiesbaden; Weser, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 8000 München; Zwirner, G., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 6200 Wiesbaden</p>	<p>㉗ Erfinder: Caruso, Robert David, Salem, N.H., US; Setter jun., Gerald Anthony, West Seneca, N.Y., US</p> <p>㉘ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften: US 39 28 063 US 36 53 253 US-Z.: Journal of Applied Physics, 1.7.1969, Nr.40, S.3157-3160;</p>
--	---

㉙ Verfahren zum Einstellen der Resonanzfrequenz eines piezoelektrischen Bauelementes

DE 2905132 C2

1  
Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen von Resonanzfrequenz eines piezoelektrischen Bauelements, bei dem das Bauelement elektrisch erregt und seine Resonanzfrequenz überwacht wird und bei dem gleichzeitig Elektrodenmaterial von dem piezoelektrischen Bauelement durch Laserstrahlbearbeitung entfernt wird, um die überwachte Resonanzfrequenz auf einen Nennwert zu ändern, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig ein elektronisches Reinigen des piezoelektrischen Bauelements dadurch erfolgt, daß das Bauelement mit einer im Vergleich zur Stromstärke des üblichen Betriebs höheren Stromstärke übersteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Übersteuern des piezoelektrischen Bauelementes bei einer Stromstärke einer solchen Größenordnung erfolgt, die wenigstens das 30fache der Stromstärke beim üblichen Betrieb des Bauelementes ausmacht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Übersteuern des piezoelektrischen Bauelementes in der Weise erfolgt, daß ein Stromfluß von wenigstens 60 mA in dem Bauelement erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Resonanzfrequenzänderung des piezoelektrischen Bauelementes als Folge der Laserstrahlbearbeitung in einer Größenordnung von wenigstens 500 Hz liegt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die beim Übersteuern des piezoelektrischen Bauelementes angewandte Stromstärke verringert wird, wenn sich die Resonanzfrequenz des Bauelementes dem Nennwert annähert, um eine Verzerrung des Resonanzfrequenz-Ansprechverhaltens des Bauelementes zu verringern.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausmaß, in dem das Elektrodenmaterial mittels Laserstrahlbearbeitung von dem piezoelektrischen Bauelement entfernt wird, verringert wird, wenn sich die Resonanzfrequenz des Bauelementes dem Nennwert annähert.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Übersteuern des piezoelektrischen Bauelementes angewandte Stromstärke und das Ausmaß der Entfernung des Elektrodenmaterials von dem piezoelektrischen Bauelement mittels Laserstrahlbearbeitung in aufeinanderfolgenden Stufen verringert werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß fortlaufend eine für die Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Bauelementes repräsentative Kurve auf einem Monitor angezeigt wird; und die zum Übersteuern des piezoelektrischen Bauelementes angewandte Stromstärke verringert wird, wenn sich die Resonanzfrequenz des Bauelementes dem Nennwert annähert, um eine Verzerrung des Resonanzfrequenz-Ansprechverhaltens des Bauelementes zu verringern, und um eine verbesserte Definition der Resonanzfrequenzkurve auf dem Monitor zu erhalten.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Übersteuern des

2

piezoelektrischen Bauelements zunächst bei verschiedenen, mit einer ersten Frequenzstufengröße ansteigenden Frequenzen in einem Frequenzbereich erfolgt, der sich von Werten unterhalb des Nennwertes bis zu Werten oberhalb des Nennwertes der Resonanzfrequenz erstreckt, und daß anschließend das Übersteuern bei verschiedenen, mit einer zweiten Frequenzstufengröße, die kleiner ist als die erste, ansteigenden Frequenzen mit verringerter Stromstärke erfolgt.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung der Resonanzfrequenz eines piezoelektrischen Bauelementes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Einstellung der Resonanzfrequenz eines basisplattierten Quarzkristall-Bauelementes, wie etwa eines Quarzkristallresonators, nach unten zu einem Nennwert mittels der Anwendung der aufeinanderfolgenden galvanischen Nickelabscheidung ("rohe Einstellung") und der anschließenden Goldaufdampfung ("Feineinstellung") stellt ein langsames, zeitaufwendiges Verfahren dar. Die galvanische Nickelabscheidung erfordert ferner die Anwendung einer schwierig zu wartenden Galvanisierausrüstung, und die Goldaufdampfung erfordert die Benutzung einer voluminösen Vakuum-Abscheidungs- und Vorrichtung.

Mit dem Beitrag "Laser-Machining Thin-Film Electrode Arrays on Quartz Crystal Substrates" von J. L. Hokanson et al. in Journal of Applied Physics, 40, S. 3157—3160 (1. Juli 1969) wird ein System für die Laserstrahlbearbeitung von Elektroden eines basisplattierten Quarzkristall-Bauelementes beschrieben, um dessen Frequenz nach oben (d. h. zu höheren Werten) bis zu einem Nennwert einzustellen, wodurch die oben angegebenen Schritte zur galvanischen Nickelabscheidung und zur Goldaufdampfung weggelassen werden können. Obwohl die in diesem Beitrag beschriebene Laserstrahlbearbeitung für die Einstellung der Frequenz von verschiedenen Quarzkristallbauelementen wie etwa Resonatoren oder monolithischen Kristallfiltern geeignet ist, ist das System für solche Anwendungen, wo die im Verlauf der Einstellung erforderliche Änderung der Frequenz in der Größenordnung von 500 Hz liegt oder mehr als 500 Hz beträgt, nicht besonders geeignet. Es ist festgestellt worden, daß die Laserstrahlbearbeitung unter diesen Bedingungen zu einer merklichen Anhäufung von lose anhaftenden, bei der Laserstrahlbearbeitung angefallenen Teilchen an dem einzustellenden Bauelement führt. Sofern das Bauelement anschließend in Betrieb genommen wird, neigen diese Teilchen zum Abwandern, wodurch sich die elektrischen Parameter (wie etwa der Widerstand, die Einfügungsdämpfung und die Resonanzfrequenz) des Bauelementes verändern und dieses im Verlauf des Betriebs instabil machen.

In dem Beitrag "The Current Dependency of Crystal Unit Resistance at Low Drive Level" von S. Nonaka et al. in The Proceedings of the 25th Annual Symposium on Frequency Control, S. 139—147 (April 1971) wird ein Verfahren beschrieben, das in der Fachwelt als "elektronische Reinigung" bekannt ist, bei welchem der Widerstandswert eines Quarzkristall-Bauelementes, an dem kleine Metallteilchen (beispielsweise aus Gold) anhaften, auf den Widerstandswert des Bauelementes verringert werden kann, indem das Bauelement bei hoher Stromstärke übersteuert wird, um die Metallteilchen zu entfernen. Die elektronische Reinigung eines Quarzkri-

daß eine Hin- und Herbewegung des ersten Schlittens 24 längs einer Y-Achse erfolgen kann; der zweite Schlitten ist verschieblich an einem Unterteil 28 angebracht, so daß die Hin- und Herbewegung des zweiten Schlittens 26 längs einer X-Achse erfolgen kann. Die Schlitten werden von umschaltbaren Schrittmotoren 30 und 32 angetrieben, die ihrerseits von einer Steuerschaltung 34 gesteuert werden, um den Resonator 10 aufeinanderfolgend in Y- und X-Richtung relativ zu einem Strahlenbündel eines gepulsten Lasers 36 zu verschieben, um durch Verdampfung des entsprechenden Materials die Löcher 12h (vgl. Fig. 2) in der Außenelektrode 12 zu erzeugen.

Hierbei ist zu Beginn jeder Frequenzeinstellung das Strahlenbündel des Lasers 36 durch einen hin- und herbewegbaren Verschuß 37 unterbrochen. Bei Betätigung eines Startkontaktes in der Motorsteuerschaltung 34 wird der Verschuß 37 zurückgezogen. Zur gleichen Zeit werden der erste Schlitten 24 und damit auch der Resonator 10 von dem ersten Motor 30 anfänglich in Y-Richtung verschoben.

So kann etwa, wie aus Fig. 2 ersichtlich, im Verlauf dieser Verschiebung des Resonators 10 der Laser 36 (vgl. Fig. 3) die linke Zeile der Löcher 12h in der äußeren Elektrode 12 erzeugen, wobei am oberen Ende der Zeile begonnen wird. Nachdem der Resonator 10 das Ende ihrer Verschiebung in Y-Richtung erreicht hat, wird der erste Motor 30 zeitweise abgeschaltet, und der zweite Motor 32 wird eingeschaltet, um die Schlitten 24 und 26 in Stellung zu bringen, wodurch der Resonator 10 entsprechend der Darstellung nach Fig. 2 und 3 um eine kleine Strecke (beispielsweise 0,10 bis 0,15 mm) nach links verschoben wird, wonach nunmehr der zweite Motor abgeschaltet und der erste Motor erneut in umgekehrter Richtung in Betrieb gesetzt wird. Der erste Motor 30 verschiebt anschließend den Schlitten 24 und den Resonator 10 in umgekehrter Richtung parallel zur Y-Achse, so daß der Laser 36 eine zweite Zeile von Löchern 12h in der Außenelektrode 12 erzeugt. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, wobei das Ausmaß der Laserstrahlbearbeitung fortlaufend reduziert wird, bis der Resonator 10 auf den angestrebten Nennwert der Resonanzfrequenz  $F_n$  eingestellt ist. Hierbei ist zu beachten, daß eine größere oder kleinere Anzahl von Zeilen der durch Laserstrahlbearbeitung erzeugten Löcher 12h in der Elektrode 12 ausgebildet werden kann, was von den besonderen Umständen abhängt.

Zu der elektrischen Fassung 23 gehört ein Eingangskontaktstift 38i, der an den Ausgang eines HF-Verstärkers 40 angeschlossen ist. Der Quarzkristallresonator 10 kann anfänglich mit einer Stromstärke angesteuert werden, die in der Größenordnung vom 30- bis 35fachen der Stromstärke beim üblichen Betrieb liegt.

Der HF-Verstärker 40 wird an eine Energiequelle angeschlossen, die Ausgangssignale der angestrebten, unterschiedlichen Stromstärken bei verschiedenen Frequenzen unterhalb und oberhalb der angestrebten Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  (vgl. Fig. 4, 5 und 6) zu erzeugen vermag. Der HF-Verstärker 40 wird an einen automatischen Synthesizer 42 angeschlossen, der seinerseits an einen Rechner 44 angeschlossen ist. In diesem System erzeugt der Synthesizer 42 Ausgangssignale von verschiedenen Stromstärken und bei verschiedenen Frequenzen in unterschiedlich großen Frequenzstufen.

Zur elektrischen Fassung 23 gehören weiterhin ein Ausgangskontaktstift 38o, der an einen Netzwerkanalysator 46 angeschlossen ist, der seinerseits die Resonanz-

frequenz des Quarzkristallresonators 10 zu messen vermag und das ermittelte Signal einem Monitor in der Form eines Oszillographen 48 zuführt. Der Ausgangskontaktstift 38o ist an den Netzwerkanalysator 36 über einen Außenwiderstand für den HF-Verstärker 40 angeschlossen und weiterhin über einen Widerstand mit kleinem Widerstandswert an Masse angeschlossen, um eine Spannung zu erzeugen, die vom Netzwerkanalysator gemessen und auf dem Schirm des Oszillographen 48 in Form einer Resonanzfrequenzkurve in bekannter Weise angezeigt werden kann.

Vorzugsweise wird jeder Quarzkristallresonator 10 in der elektrischen Fassung 23 angeordnet, wobei sich die Fassung 23 in einer (nicht dargestellten) Einsetz-Entnahme-Stellung entfernt vom Strahlenbündel des Lasers 36 befindet. Daraufhin wird der Resonator 10 entsprechend Fig. 3 in seine für die Laserstrahlbearbeitung vorgesehene Stellung gebracht. Zum Beispiel kann die Motorsteuerschaltung 34 hierzu einen Schaltkreis aufweisen, der in Verbindung mit einem optischen Ausrichtesystem, das seinerseits an die Schlitten 24 und 26 angepaßt ist, die Motoren 30 und 32 antreibt, um den Resonator in die für die Laserstrahlbearbeitung vorgesehene Stellung zu bringen. Durch Schließen einer (nicht dargestellten) Laserabschirmung wird daraufhin dem Laser 36 Energie zugeführt, wobei das Auftreffen des Strahlenbündels des Lasers auf der Außenelektrode 12 des Resonators 10 weiterhin durch den Verschuß 37 unterbunden ist.

Nachdem der Quarzkristallresonator 10 in seine für die Laserstrahlbearbeitung vorgesehene Stellung gebracht worden ist, wird der Rechner 44 gestartet. Der Rechner 44 veranlaßt daraufhin den Synthesizer 42, den Zustand für die höchste Stromstärke und die größte Frequenzstufengröße einzunehmen. Gleichzeitig (vgl. Fig. 4) veranlaßt der Rechner 44 den Synthesizer 42, Ausgangssignale von verschiedener, fortlaufend höherer Frequenz zu erzeugen, wobei bei einem Wert unterhalb der Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  und mit Frequenzstufen von relativ großer Stufengröße begonnen wird, um anfänglich einen relativ weiten Frequenzbereich auf den gegenüberliegenden Seiten der Nennwert-Resonanzfrequenz zu überstreichen.

Die anfängliche Resonanzfrequenzkurven-Anzeige auf dem Schirm des Oszillographen 48 kann einen Frequenzbereich von etwa 10 000 Hz auf jeder Seite der angestrebten Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  überdecken, wie das mit Fig. 4 dargestellt ist. Der Synthesizer 42 erzeugt 100 Frequenzschritte in jedem Abtastdurchgang des Oszillographen 48 und muß für den angestrebten Bereich von 20 000 Hz so programmiert sein, daß er ein Signal in Schritten von 200 Hz (d.h.  $20\,000 \pm 100$ ) erzeugt.

Wie mit Fig. 4 dargestellt, wird auf dem Schirm des Oszillographen 48 eine Resonanzfrequenzkurve des Resonators angezeigt, wie sie beispielsweise mit den gestrichelten Linien in dieser Figur dargestellt ist. Die Bedienungsperson bestimmt daraufhin optisch, aus der angezeigten Resonanzfrequenzkurve den Wert der Resonanzfrequenz für den Resonator 10 und veranlaßt die erforderlichen Maßnahmen.

Sofern beispielsweise die Resonanzfrequenz des Quarzkristallresonators 10 mehr als 6000 Hz unterhalb der Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  für den oben beschriebenen 3,15 MHz-Resonator liegt, wird der Resonator vorzugsweise aus der Vorrichtung ohne Einstellung herausgenommen und durch einen anderen Resonator ersetzt, da es bei einem solchen großen Frequenz-

prozentuale Änderung des Wirkwiderstandes für zwei Probenpartien von Quarzkristallresonatoren 10 dargestellt, welche die oben angegebene Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  (vgl. Fig. 4, 5 und 6) in der Größenordnung von 3,15 MHz aufweisen.

In dieser Beziehung stellen die ausgezogene und die gestrichelte Linie in Fig. 7 Mittelwerte des Wirkwiderstandes für zwei Probenpartien von Resonatoren 10 dar.

Aus Fig. 7 ist ersichtlich, daß in der ersten Probenpartie der mittlere Wirkwiderstand von etwa 2% bei einer Resonanzfrequenzänderung von 400 Hz bis zu etwa 25% bei einer Resonanzfrequenzänderung von 10 000 Hz als Folge der Laserstrahlbearbeitung zugenommen hat. Im Gegensatz dazu hat der (mit der gestrichelten Linie dargestellte) mittlere Wirkwiderstand einer zweiten Probenpartie von Resonatoren 10, wo die Laserstrahlbearbeitung ohne gleichzeitige elektronische Reinigung erfolgt ist, von etwa 17% bei einer Resonanzfrequenzänderung von 400 Hz bis zu etwa 64% bei einer Resonanzfrequenzänderung von 10 000 Hz als Folge der Laserstrahlbearbeitung zugenommen.

In Fig. 8 ist in halb-logarithmischem Maßstab dargestellt, daß für eine zweite Partie von Quarzkristallresonatoren 10, die später elektronisch gereinigt worden sind, die Resonatoren eine Zunahme der Resonanzfrequenz aufweisen, wenn die Änderung der Resonanzfrequenz als Folge der Laserstrahlbearbeitung erhöht wird.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

30

35

40

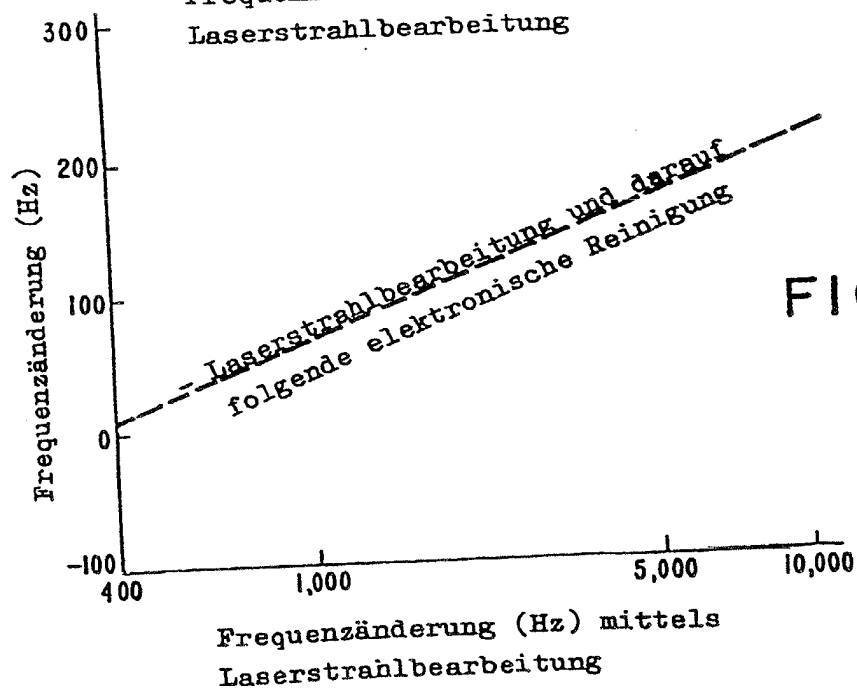
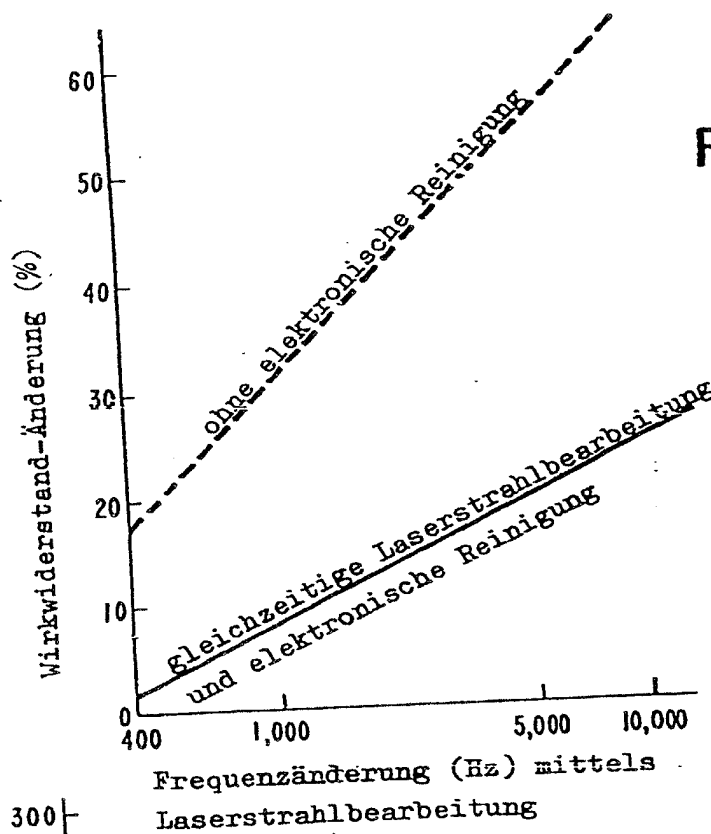
45

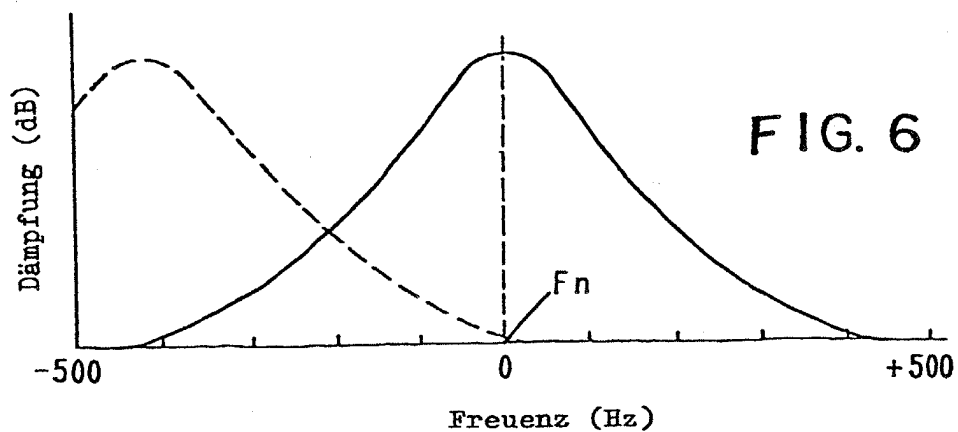
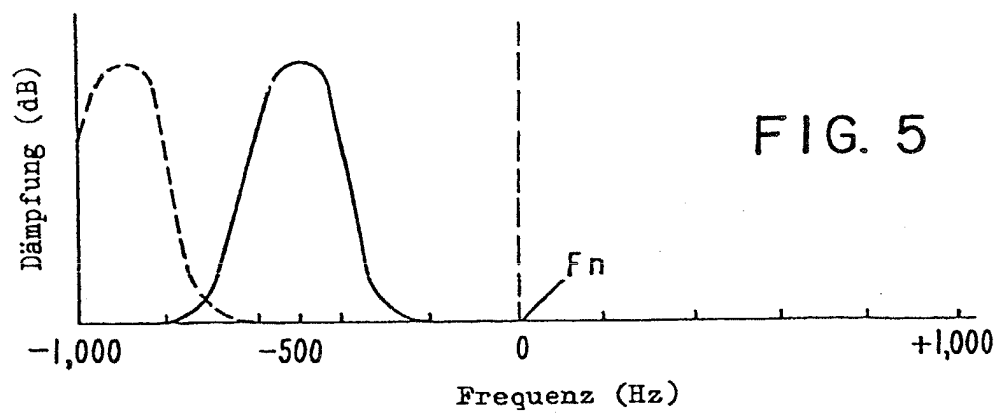
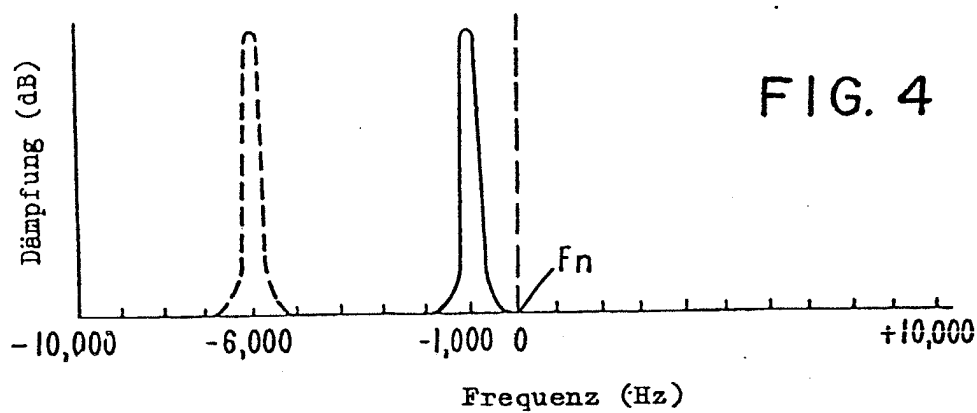
50

55

60

65





abstand schwierig ist, den Resonator auf den Nennwert  $F_n$  einzustellen und weiterhin die anderen elektrischen Parameter (wie beispielsweise den Wirkwiderstand und die Einfügungsämpfung) bei akzeptablen Werten zu halten. In ähnlicher Weise wird, sofern die Resonanzfrequenz des Resonators 10 oberhalb des Nennwertes  $F_n$  liegt, der Resonator aus der Vorrichtung herausgenommen, und einem anderen Verfahren zur Einstellung des Nennwertes zugeführt, bei dem zusätzliches Elektrodennmaterial auf dem Resonator abgeschieden wird.

Sofern die Resonanzfrequenz des Quarzkristallresonators 10 innerhalb des vorgesehenen Bereichs bei einem Wert oberhalb des vorgegebenen unteren Grenzwertes liegt, wird von der Bedienungsperson ein Steuerknopf der Laserpuls-Steereinheit 50 (vgl. Fig. 3) betätigt, um die Laserstrahlbearbeitung der Außenelektrode 12 (vgl. Fig. 1 und 2) in einem Ausmaß in Gang zu setzen, das von der Größe der Frequenzeinstellung abhängt, die ihrerseits zum Erreichen des Nennwertes  $F_n$  erforderlich ist. Die Resonanzfrequenz des Resonators 10 liegt innerhalb eines unteren Frequenzbereiches (beispielsweise zwischen  $-1000$  bis  $-6000$  Hz zu dem Nennwert  $F_n$  für den oben beschriebenen  $3,15$  MHz-Resonator), wie das mit der gestrichelten Kurve in Fig. 4 dargestellt ist; dann wird die Impulsfrequenz des Lasers 36 anfänglich so eingestellt, daß der Laser die Löcher 12h (vgl. Fig. 2) in der Außenelektrode 12 des Resonators in relativ engen Abständen von etwa  $0,10$  mm erzeugt.

Daraufhin wird der Verschluß 37 des Laserstrahlbündels geöffnet, und der Motor 30 wird angeschaltet, um den Schlitten 24 in Y-Richtung zu verschieben. Anschließend, wenn der Laser 36 beginnt, im Abstand zueinander die Löcher 12h der ersten linken Zeile in der Außenelektrode 12 des Resonators 10 zu erzeugen, steigt die Resonanzfrequenz des Resonators an, und die auf dem Schirm des Oszillographen 48 angezeigte Resonanzfrequenzkurve verschiebt sich auf die Schirmmitte zu, wie das mit der ausgezogenen Kurve in Fig. 4 dargestellt ist.

Durch anfängliche Verzerrungen vermittelt die Kurve eine falsche Darstellung der tatsächlichen Resonanzfrequenz des Resonators.

Wenn die Bedienungsperson feststellt, daß, bezogen auf die ausgezogene Kurve in Fig. 4, das Maximum der Resonanzfrequenzkurve den oberen Grenzwert (beispielsweise  $-1000$  Hz) des vorgegebenen unteren Frequenzbereiches erreicht hat, betätigt sie den Rechner 44, der über den Synthesizer 42 den Quarzkristallresonator 10 bei einer zweiten, kleineren Stromstärke ansteuert, etwa in der Größenordnung vom 20fachen der Stromstärke beim üblichen Betrieb, um die Verzerrung des Resonanzfrequenz-Ansprechverhaltens des Resonators zu verhindern.

Gleichzeitig wird ein Ausgangssignal mit fortlaufend höheren Frequenzen erzeugt, jedoch in kleineren Schritten, etwa von  $20$  Hz, um eine Resonanzfrequenzanzeige auf dem Oszillographen über einen engeren Zwischenfrequenzbereich zu erhalten, etwa von  $\pm 1000$  Hz, wie das in Fig. 5 dargestellt ist.

Die Verringerung der Stromstärke des Resonators 10 hat eine entsprechende Verringerung der elektronischen Reinigungswirkung an der Außenelektrode 12 zur Folge. Daher, und um eine bessere Steuerung des Einstellvorganges bei der Nennwert-Resonanzfrequenz  $F_n$  zu erhalten, stellt die Bedienungsperson die Laserimpuls-Steereinheit 50 entsprechend ein, um die Impulsfrequenz des Lasers 36 zu verringern, so daß das Strahl-

lenbündel des Lasers nunmehr die Löcher 12h in der Außenelektrode 12 bei vergrößerten Abständen erzeugt, wie das in Fig. 2 dargestellt ist.

Als Folge der Verringerung der Stromstärke, wird auf der linken Seite des Schirmes des Oszillographen 48 eine Resonanzfrequenzkurve mit verbesserter Genauigkeit angezeigt, wie das mit der gestrichelten Kurve in Fig. 5 dargestellt ist. Anschließend steigt die Resonanzfrequenz des Resonators kontinuierlich an und verschiebt sich in Fig. 5 nach rechts, auf die Schirmmitte des Oszillographen zu.

Wenn die Bedienungsperson feststellt, daß das Maximum der auf dem Schirm des Oszillographen 48 angezeigten Frequenzkurve eine Stelle erreicht hat, die angenähert der halben Strecke zwischen der linken Seite und der Mitte des Schirmes entspricht, etwa innerhalb  $500$  Hz des angestrebten Nennwertes  $F_n$  der Resonanzfrequenz, betätigt die Betriebsperson erneut den Rechner 44. Der Rechner 44 veranlaßt nunmehr den Synthesizer 42, den Quarzkristallresonator 10 bei einer noch kleineren Stromstärke anzusteuern, etwa in der Größenordnung des 8- bis 10fachen der Stromstärke beim üblichen Betrieb des Resonators, um die Verzerrung des Resonanzfrequenz-Ansprechverhaltens des Resonators noch weiter zu verringern. Gleichzeitig veranlaßt der Rechner 44 den Synthesizer 42, dessen Ausgangssignal bei Frequenzen in noch kleineren Frequenzschritten (beispielsweise  $10$  Hz) zu erzeugen, um auf dem Schirm des Oszillographen 48 eine Anzeige der Resonanzfrequenzkurve über einen noch kleineren oberen Frequenzbereich (beispielsweise  $\pm 500$  Hz) zu gewährleisten, wie das in Fig. 6 dargestellt ist.

Nun wird die Impulsfrequenz des Lasers 36 weiter verringert, so daß das Laserstrahlenbündel die Löcher 12h in der Außenelektrode 12 des Quarzkristallresonators 10 mit noch größeren Abständen erzeugt, wie das in Fig. 2 dargestellt ist. Dadurch ist die in Abstimmung zur Laserstrahlbearbeitung erforderliche, elektronische Reinigung der Resonatoraußenelektrode 12 verringert, womit wiederum der Tatsache Rechnung getragen ist, daß eine Verringerung der Stromstärke am Resonator 10 eine verringerte elektronische Reinigungswirkung der Außenelektrode zur Folge hat. Die zusätzliche Verringerung der Stromstärke des Quarzkristallresonators 10 und die kleineren Frequenzstufen ergeben eine verbesserte Resonanzfrequenzkurve, wie das mit der gestrichelten Kurve auf der linken Seite der Fig. 6 dargestellt ist. Wenn anschließend die Laserstrahlbearbeitung der Außenelektrode 12 des Resonators 10 weiter fortgesetzt wird, steigt die Resonanzfrequenz des Resonators fortlaufend an bis zu dem Nennwert  $F_n$ , und die Frequenzkurve verschiebt sich in Fig. 6 nach rechts.

Nachdem das Maximum der Resonanzfrequenzkurve die mit der festen Linie angezeigte Stelle (das ist der Nennwert  $F_n$ ) in Fig. 6 erreicht hat, wird der Verschluß 37 geschlossen, die Motoren 30 und 32 werden abgeschaltet, und der Laser 36 abgeschaltet, und der eingestellte Quarzkristallresonator 10 wird aus der elektrischen Fassung 23 herausgenommen.

Wenn die anfängliche Resonanzfrequenz des Resonators bereits innerhalb des Zwischenfrequenzbereichs (vgl. Fig. 5) liegt, ist die anfängliche Einstellungsphase (vgl. Fig. 4) nicht erforderlich, und man beginnt direkt mit der zweiten Einstellphase.

Wenn die Resonanzfrequenz im oberen Frequenzbereich (vgl. Fig. 6) liegt, beginnt man direkt mit der dritten Einstellphase.

In Fig. 7 ist in halb-logarithmischem Maßstab die

stall-Bauelementes wird weiterhin in den US-PS 39 28 063 und 36 53 253 beschrieben. Es ist jedoch festgestellt worden, daß die elektronische Reinigung eines Quarzkristall-Bauelementes im Anschluß an die oben genannte Laserstrahlbearbeitung unregelmäßige Veränderungen der Resonanzfrequenz des Bauelementes ergibt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art derart auszugestalten, daß eine genauere und leichtere Einstellung der Frequenz dadurch ermöglicht wird, daß die Anhäufung von lose anhaftenden, bei der Laserstrahlbearbeitung anfallenden Teilchen an dem einzustellenden Bauelement vermieden wird.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebene Erfindung gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die gleichzeitige Durchführung von Laserstrahlbearbeitung und elektronischer Reinigung des Bauelementes beseitigt auch die unregelmäßigen Resonanzfrequenzänderungen.

Am Anfang kann das piezoelektrische Bauelement mit einer Stromstärke übersteuert werden, deren Größenordnung das 30fache der Stromstärke beim üblichen Betrieb ausmacht, mit einem Stromfluß in dem Bauelement von 60 mA. Anschließend, wenn sich die Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Bauelementes dem Nennwert annähert, wird das Bauelement sequentiell mit fortlaufend kleineren Stromstärken angesteuert, um eine Verzerrung des Resonanzfrequenz-Ansprechverhaltens des Bauelementes zu verringern und um eine verbesserte Definition einer Resonanzfrequenzkurve zu erhalten, die fortlaufend auf einen Monitor aufgezeichnet wird. Zu der gleichen Zeit wird ein Ansteuersignal dem piezoelektrischen Bauelement mit gewobelter Frequenz zugeführt, um eine Frequenz-Kennlinien-Anzeige in einem engen Frequenzbereich auf dem Monitor zu erzeugen. Wenn die Stromstärken sequentiell zu fortlaufend kleineren Werten verringert werden (wodurch die davon erzeugte elektronische Reinigungswirkung ebenfalls verringert wird), wird auch das Ausmaß der Laserstrahlbearbeitung fortlaufend auf entsprechend kleinere Werte verringert.

Nachfolgend wird die Erfindung mit Bezugnahme auf die Zeichnung im einzelnen erläutert; es zeigt

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung eines Quarzkristall-Resonators;

Fig. 2 einen Ausschnitt aus der Draufsicht auf den Quarzkristall-Resonator nach Fig. 1 mit einem Muster, in dem Elektrodenmaterial mittels Laserstrahlbearbeitung von dem Bauelement entfernt werden kann;

Fig. 3 ein schematisches Blockdiagramm einer Einrichtung zur Einstellung der Resonanzfrequenz des Quarzkristallresonators nach Fig. 1;

Fig. 4 eine graphische Darstellung von Resonanzfrequenzkurven des Quarzkristall-Resonators nach Fig. 1 in einer ersten Einstellphase;

Fig. 5 eine graphische Darstellung von Resonanzfrequenzkurven des Quarzkristallresonators nach Fig. 1 in einer zweiten Einstellphase;

Fig. 6 eine graphische Darstellung von Resonanzfrequenzkurven des Quarzkristallresonators nach Fig. 1 in einer dritten Einstellphase;

Fig. 7 eine graphische Darstellung der Änderungen des Wirkwiderstandes des Quarzkristall-Resonators nach Fig. 1, während der Resonator gleichzeitig der Laserstrahlbearbeitung und der elektronischen Reinigung ausgesetzt wird, bzw. die entsprechende Kurve, bei der

Laserstrahlbearbeitung ohne gleichzeitige elektronische Reinigung erfolgt; und

Fig. 8 eine graphische Darstellung der Änderungen der Resonanzfrequenz des Quarzkristall-Resonators nach Fig. 1, während an dem Resonator eine sequentielle Laserstrahlbearbeitung und elektronische Reinigung durchgeführt werden.

Fig. 1 zeigt einen bekannten Quarzkristall-Resonator 10, der auf einen Nennwert der Resonanzfrequenz  $F_n$  (vgl. die Fig. 4, 5 und 6) eingestellt werden soll; der Quarzkristall-Resonator 10 weist eine äußere kreisförmige Elektrode 12 und eine innere kreisförmige Elektrode 14 jeweils aus einem geeigneten Kontaktmetall wie etwa Gold auf, das auf gegenüberliegenden Seiten eines kreisförmigen, im AT-Schnitt vorliegenden Quarzkristall-Plättchens 16 aufgebracht ist. Das Plättchen 16 ist fest an vier Anschlußträgern 18s befestigt, von denen zwei elektrisch "aktiv" sind und jeweils an eine der beiden Elektroden 12 und 14 angeschlossen sind, während die zwei anderen Anschlußträger elektrisch "inaktiv" sind. Zum Resonator 10 gehört ferner ein Masseanschluß 18g, der an einem zylindrischen, kappenförmigen Verteilerkopf 20 aus Metall befestigt ist und von diesem absteht. Die Anschlüsse 18s ragen durch Löcher in dem Metall-Verteilerkopf 20 hindurch, wobei die Anschlußabschnitte innerhalb des Verteilerkopfes in isolierendes Glasmaterial eingebettet sind. Nachdem der Resonator 10 auf seine Resonanzfrequenz eingestellt worden ist, wird das Plättchen 16 in einer (nicht dargestellten) Schutzabdeckung eingeschlossen, die in bekannter Weise um den Metallverteilerkopf 20 herumgelegt wird.

Wie bekannt, wird ein Hochfrequenzpotential über die Elektroden 12 und 14 des Quarzkristallresonators 10 zugeführt, um Schwingungsmoden bei der Resonanzfrequenz in dem Kristallplättchen 16 zu erzeugen; hierbei hängt die Resonanzfrequenz von verschiedenen Faktoren, wie etwa der Größe und Masse der Elektroden sowie der Dicke und dem Durchmesser des Plättchens ab. In dieser Beziehung sind die Größe und die Masse der Elektroden 12 und 14, sowie der Durchmesser und die Dicke des Kristallplättchens 16 dahingehend ausgewählt, daß eine angestrebte Resonanzfrequenz erzeugt wird, wobei zur Auswahl der Parameter empirische Daten dienen, die durch Messung an einer Vielzahl von Proben nach bekannten Verfahren ermittelt worden sind.

Die Elektroden 12 und 14 werden auf dem Kristallplättchen 16 ausgebildet. Jeder Resonator 10 weist anschließend eine Resonanzfrequenz unterhalb des angestrebten Nennwertes  $F_n$  (vgl. Fig. 4, 5 und 6) innerhalb eines vorgegebenen, praktischen unteren Grenzwertes auf; diese Resonanzfrequenz wird anschließend auf den Nennwert  $F_n$  eingestellt, wozu mittels Laserstrahlbearbeitung in parallelen Linien im Abstand zueinander angeordnete Löcher 12h (vgl. Fig. 2) in der Außenelektrode 12 erzeugt werden, wodurch ein Anstieg der Resonanzfrequenz des Resonators auf den Nennwert hervorgerufen wird. Zur gleichen Zeit wird der Quarzkristall-Resonator 10 bei einer im Vergleich zur Stromstärke des üblichen Betriebs, hohen Stromstärke angesteuert, um eine Ansammlung der lose anhaftenden, bei der Laserstrahlbearbeitung angefallenen Teilchen an dem Resonator zu verhindern.

Wie in Fig. 3 dargestellt, werden zur Resonanzfrequenzeinstellung die Anschlüsse 18s und 18g (vgl. Fig. 1) in eine Stiftfassung 23 eingesetzt, die an einem ersten Schlitten 24 befestigt ist. Der erste Schlitten 24 ist verschieblich an einem zweiten Schlitten 26 angebracht, so



FIG. 1

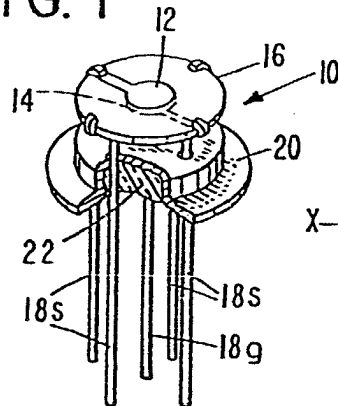


FIG. 2

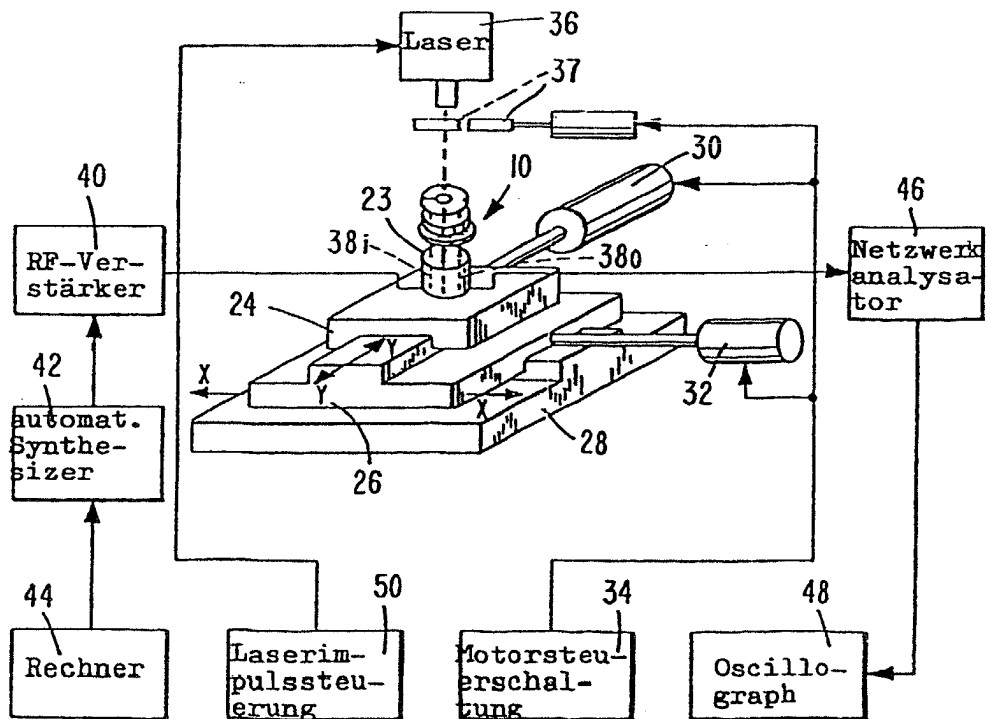
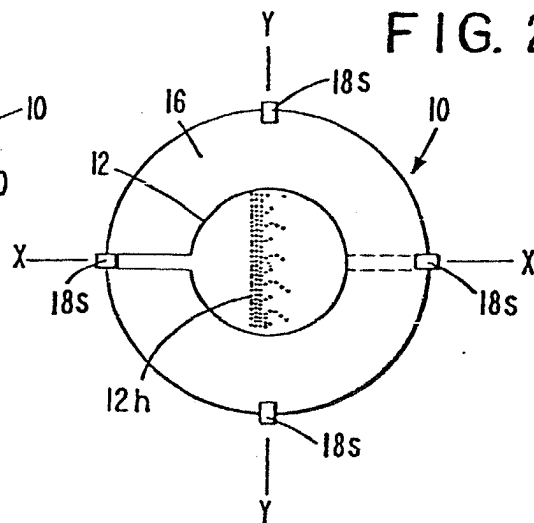


FIG. 3